

# ALGUNAS CUESTIONES DE ACTUALIDAD CONCERNIENTES A LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA

Dr. Sigvard Eklund

Director General del OIEA

¿Cuándo empezará la energía nucleoelectrónica a desempeñar una función importante, es decir, cuándo habrá una proporción apreciable de nuevas centrales eléctricas basadas en la energía nuclear? Esta es, a mi juicio, la cuestión clave. Es demasiado pronto para dar una respuesta definitiva, pero los últimos progresos registrados en el campo de la energía nucleoelectrónica hacen que cada vez sea más urgente el estudio detenido de la cuestión. Esto requiere un análisis de las necesidades energéticas actuales y de su probable evolución; también hay que averiguar hasta qué punto se puede hacer frente a esas necesidades con los recursos energéticos conocidos y con los que se piensa explotar en el futuro. Un estudio mundial de esta naturaleza permitirá hacerse una idea objetiva de la situación, pero las conclusiones así obtenidas no se pueden aplicar a casos locales o particulares. Si resultase que las reservas energéticas van a ser insuficientes, la energía de origen nuclear tendrá un importante papel que desempeñar para cubrir las necesidades, pero en tal caso habría necesariamente que averiguar si la capacidad energética de los recursos mundiales de uranio y de torio es suficiente o si los progresos tecnológicos pueden hacer que lo sea.

Ya en la actualidad, a pesar de que los recursos clásicos bastan para satisfacer nuestras necesidades cotidianas, parece que la energía de origen nuclear puede competir en determinadas condiciones con las centrales eléctricas clásicas. Hay que tener en cuenta las características especiales de la energía de origen nuclear: lo excepcionalmente útil que es para satisfacer ciertas necesidades especiales de energía en razón de las pequeñas cantidades de combustible necesarias para el funcionamiento de las centrales nucleares, lo que aminora las dificultades y el costo del transporte; el hecho de que no origina desechos que contaminen el aire, etc. También hay que tener presentes otras consideraciones: por ejemplo, que la energía de origen nuclear se puede emplear en confines militares y que esto origina complicaciones internacionales; que actualmente sólo tres países están en condiciones de vender uranio enriquecido; que las centrales nucleares se hallan sujetas aún a normas de seguridad sumamente rigurosas; que aún no se sabe con exactitud cuánto costará el tratamiento químico del combustible atómico agotado, ni cuál será el precio de venta del plutonio producido en los reactores.

## Actual consumo mundial de energía y electricidad

Un examen de las necesidades energéticas mundiales ha de basarse en datos sobre el consumo actual de energía, su ritmo de expansión y sus causas, y la distribución geográfica de las fuentes energéticas. También hay que tener en cuenta los recursos mundiales de energía conocidos hasta ahora.

La figura 1 muestra el conocido gráfico de las necesidades mundiales anuales de energía, que en la actualidad crecen exponencialmente y se duplican cada veinte años. También muestra el aumento de la población en el mismo período de tiempo. En ambos casos se indican las curvas correspondientes a América del Norte, como ejemplo de región altamente industrializada, y a Asia, muchos de cuyos países son de los llamados en vías de desarrollo. Es evidente que en América del Norte hay un elevado consumo de energía, pese a su proporción relativamente reducida de población. El consumo de energía per capita en América del Norte equivale a unas seis toneladas de carbón al año, mientras que en Asia es de 0,1 toneladas.

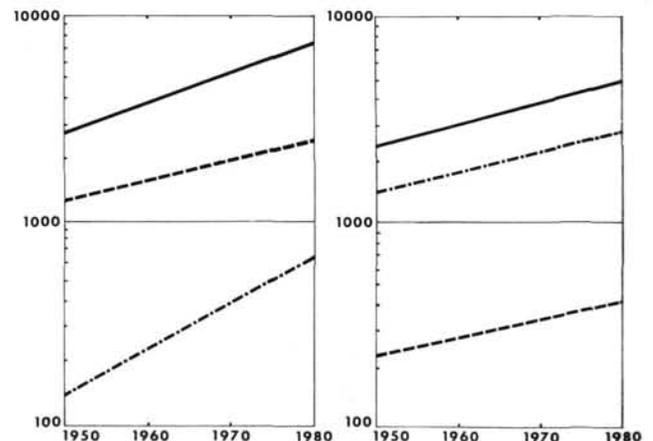


Figura 1

(A la izquierda) Producción de energía (equivalentes de carbón, en millones de toneladas)

(A la derecha) Población (en millones de habitantes)

———— Mundial

- - - - - América del Norte

- · - · - Asia

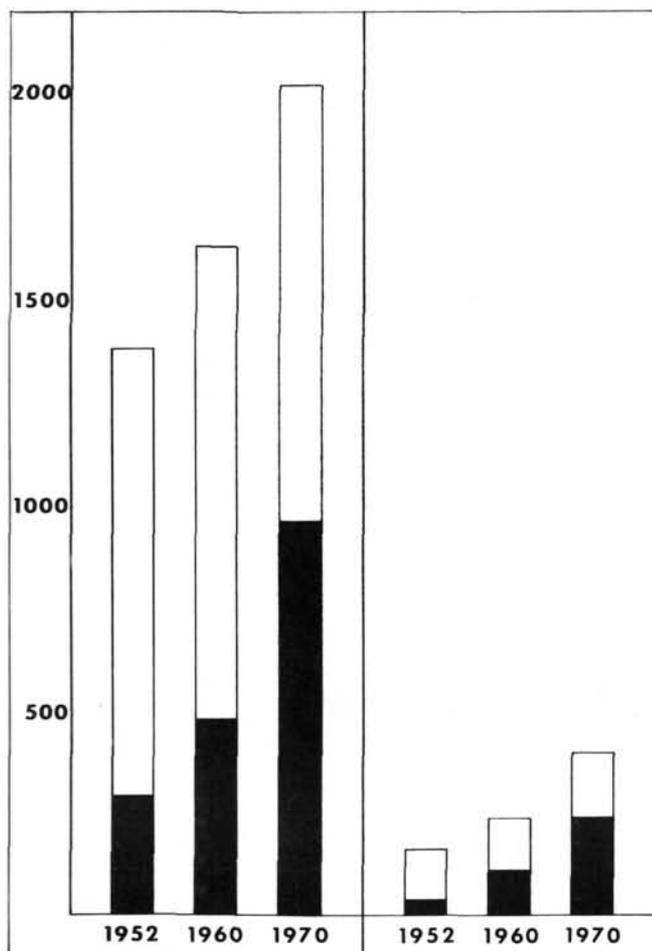
Aparte del rápido aumento de la población mundial, que ahora se duplica en 44 años, hay que contar con un aumento rápido del consumo de energía per capita. No es sorprendente que este crecimiento sea menos rápido en los países ya desarrollados que en los que están en vías de desarrollo. La figura 2 muestra el consumo total de energía en América del Norte en 1952, en 1960 y el consumo previsto para 1970. La tendencia del consumo de energía eléctrica, que se indica en el gráfico, reviste especial interés. En los países industrializados hace mucho tiempo que el consumo de energía presenta una clara tendencia a pasar de la energía de tipo primario (como la proporcionada por el carbón y el petróleo) a la de tipo secundario o de orden más elevado como, por ejemplo, la electricidad. Es lógico que esa tendencia sea aún más acentuada en los países en vías de desarrollo, que tratan de superar rápidamente etapas de expansión tecnológica y económica que han llevado siglos a los países adelantados. Ve-

Figura 2

Producción de energía (equivalentes de carbón, en millones de toneladas)

■ Electricidad  
□ Otros tipos

(A la izquierda) América del Norte (A la derecha) Asia



mos algunas cifras bien significativas: los Estados Unidos, con el 6 por ciento de la población mundial, alcanzan el 33 por ciento del consumo mundial total de electricidad. También es interesante señalar que el precio de venta al consumidor de la electricidad en los Estados Unidos es de unos 26 mills/kWh, mientras que, por ejemplo, en Togo un kWh cuesta 120 mills. Las grandes discrepancias que reflejan esas cifras muestran el enorme aumento de la producción de energía, en particular en su forma secundaria de energía eléctrica, que será menester cuando los países en vías de desarrollo empiecen a industrializarse, así como los beneficios económicos que se obtendrán cuando esos países dispongan de energía barata. Conviene recordar que en los países en vías de desarrollo vive la mayor parte (más de dos tercios) de la actual población mundial, que se calcula en 3 000 millones.

Esta tendencia hacia una importancia cada vez mayor de la electricidad en el consumo de energía reviste particular interés en relación con la energía atómica, cuya aplicación industrial más importante hasta ahora es precisamente la producción de electricidad.

## Recursos energéticos mundiales

En el Cuadro 1, tomado de un estudio presentado a la Conferencia Mundial de la Energía en 1962, se indican los recursos mundiales de combustibles fósiles que, según se prevé, pueden explotarse económicamente.

Las cifras precisan algunas notas aclaratorias. Se calcula que el total de las reservas mundiales de combustibles clásicos es más elevado que el indicado en el cuadro, pero los gastos de extracción o las dificultades tecnológicas inherentes al aprovechamiento de minerales pobres obligarán a dejar sin explotar una parte considerable de los recursos, al menos hasta que transcurran muchos años. El que sea o no económico extraer carbón de baja calidad, por ejemplo, dependerá naturalmente del precio que pueda obtenerse por el producto definitivo.

También cabe la posibilidad de que los recursos energéticos sin explotar y las reservas calculadas que se indican en el cuadro aumenten considerablemente como resultado de la activa labor de prospección que se está realizando, sobre todo en lo que se refiere al petróleo. Es bien sabido que casi todos los cálculos de las reservas de petróleo efectuados en los últimos 40 años han llevado a la conclusión de que son suficientes para cubrir el consumo durante otros 20 ó 30 años. Conviene, pues, tener presente que hay una gran incertidumbre en cuanto a la cantidad total de los recursos mundiales de combustibles fósiles y a la fracción de los mismos cuya explotación es posible desde el punto de vista técnico y económico. Se han publicado otras cifras distintas de

las del cuadro, pero el orden de magnitud es aproximadamente el mismo.

Tampoco hay que olvidar a la energía hidroeléctrica, que en vez de consumirse se renueva año tras año. Se calcula que las reservas mundiales de energía hidroeléctrica ascienden a unos 1 650 millones de kW de capacidad generadora aprovechable; esto corresponde a un consumo de unos 2 500 millones de toneladas de carbón al año. La energía hidroeléctrica representa tan sólo una pequeña fracción (2 por ciento) del actual consumo global de energía al año, aunque su importancia puede ser primordial en los países que carecen de combustibles fósiles.

¿Hasta cuándo durarán los recursos energéticos mundiales?

Suponiendo que los recursos energéticos mundiales se eleven al equivalente de 3,5 billones de toneladas de carbón, esta cantidad bastaría para los próximos 800 años al actual ritmo de consumo de 4 200 millones de toneladas anuales. Pero el rápido aumento de la demanda anual de energía acorta considerablemente ese período. Si bien es cierto que el margen de incertidumbre en los cálculos, tanto en lo que respecta a los recursos totales como al consumo, es bastante grande, se pueden deducir de todas formas ciertas conclusiones de tipo cualitativo. En otras palabras, hemos de dar por supuesto que el mundo camina hacia la escasez de combustibles fósiles, escasez que se acentuará en ciertas regiones y que algunos países altamente industrializados han de tener ya en cuenta desde ahora. Aunque es cierto que el plazo que se nos concede es mayor del previsto en anteriores pronósticos -por ejemplo, en la Conferencia de Ginebra de 1955- lo cierto es que no es muy largo.

Es evidente que el aumento de la demanda, unido a las limitaciones de los actuales recursos energéticos, obliga a buscar nuevas fuentes de energía. En una conferencia de las Naciones Unidas celebrada en 1961 se hizo un estudio de algunas fuentes energéticas no fósiles, de tipo no tradicional; por ejemplo, la energía eólica, la maremotriz, la solar y la geotérmica. Muchas de estas fuentes son interesantes, pero ninguna ofrece tan buenas perspectivas como la energía nuclear, sobre todo porque las posibilidades de aprovechamiento de ésta última se basan en una reserva considerable de materias primas.

## Recursos mundiales de materiales fisionables

Consideremos ahora los recursos mundiales de uranio, definidos como aquellos que permiten extraer uranio a un costo comprendido entre 18 y 22 dólares por kilogramo de óxido de uranio (Cuadro 2). Las cifras de producción indicadas en el cuadro son cifras reales o extrapolaciones para todo 1963 basadas en la producción al principio del año. En este caso

sólo se dispone de datos provenientes del mundo occidental.

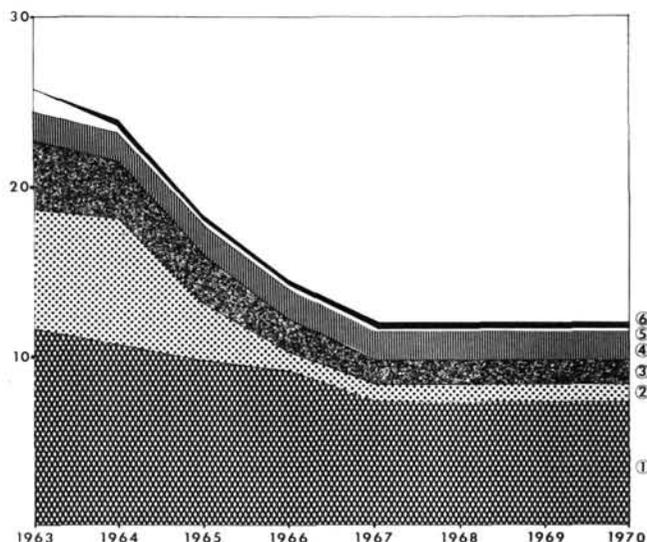


Figura 3

Producción mundial de uranio (en miles de toneladas)  
1. Estados Unidos de América 2. Canadá 3. Sudáfrica  
4. Francia 5. Australia 6. Otros países.

La producción disminuye ahora en todos los países porque es menor la demanda con fines militares, y es de esperar que alcance su mínimo en 1968 con una cantidad aproximada de 10 000 toneladas (figura 3). A partir de 1970 cabe esperar un aumento de la producción en razón del aumento de la demanda para fines pacíficos.

En cuanto a la tendencia de los precios, la información disponible sobre los precios del óxido de uranio en el período 1945-1955 es escasa, pero probablemente se puede afirmar que el precio medio fue de unos 27 dólares por kg. En el período 1958-1962 el precio osciló en torno a 22 dólares por kg y cabe esperar que baje a 18 dólares en 1962-1966 y que continúe disminuyendo hasta llegar en 1970 a un valor comprendido entre 15 y 11 dólares por kg. Se han concertado acuerdos de suministro de cantidades de hasta 15 toneladas a precios de sólo 9 dólares por kg. Cabe pensar que el probable aumento de la demanda para alimentar centrales nucleoelectricas a partir de 1970 determine una nueva alza de los precios.

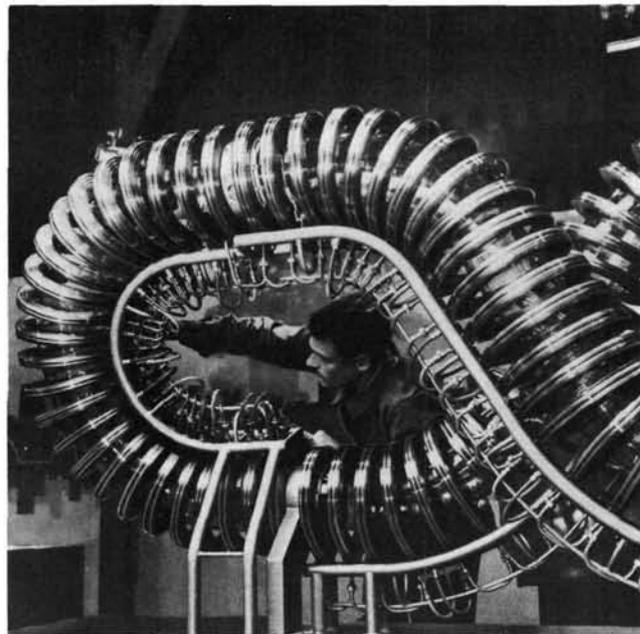
Parece razonable suponer que la cantidad total de uranio que puede extraerse a bajo costo en todo el mundo asciende a 1 500 000 toneladas aproximadamente, pero debe recalcar que las reservas de uranio serían como mínimo 10 veces más abundantes si incluyeran a los minerales que pueden explotarse a un costo dos o tres veces mayor.

Es, pues, evidente que los recursos de uranio son considerables. ¿Cuánta energía pueden proporcionar? Si se supone un grado de combustión de 10 000 MWd, aproximadamente, por tonelada de uranio natural, se

hallará que las 600 000 toneladas indicadas en el Cuadro 2 corresponden solamente a 17 000 millones de toneladas de carbón. En cambio, si se supone que el uranio se utilizará en reactores reproductores se llegará a un grado de combustión de 200 000 MWd por tonelada, calculando según criterios prudentes. En tal caso se podrá utilizar también uranio de minerales más pobres que los indicados en el Cuadro 2 en razón de la menor importancia que tendría el precio de la materia prima; los recursos de uranio se elevarían entonces a 15 millones de toneladas, lo que equivale a 2 ó 3 veces las reservas de combustibles fósiles antes calculadas. Además, si se explotasen también los yacimientos de torio pobre (que son considerablemente mayores que los de uranio), la energía que contienen los combustibles atómicos sería de 10 a 20 veces mayor que la de las reservas de combustibles fósiles actualmente conocidas.

Las consideraciones y previsiones a largo plazo de este orden fueron las que inspiraron la rápida expansión de los programas de energía de origen nuclear en varios países a mediados del decenio pasado, pero la competencia con las fuentes energéticas clásicas resultaba aún más difícil por no haber verdadera escasez de recursos energéticos y porque el precio de los combustibles fósiles disminuyó en lugar de aumentar como se había previsto; además, el elevado tipo de interés fue en muchos casos un factor particularmente adverso a las centrales nucleoelectricas, que exigen grandes inversiones de capital. Por su parte, las centrales eléctricas tradicionales han progresado tecnológicamente evolucionando hacia unidades de mayor envergadura, lo que ha determinado una reducción de los costos de producción. Cuando en 1943 se construyó la planta de difusión gaseosa de Oak Ridge, se montó para alimentarla una central eléctrica de 300 MW que era entonces la mayor que se había construido en los Estados Unidos. Hoy día se proyectan y construyen corrientemente centrales de 600 a 1 000 MW. También es preciso admitir que los problemas tecnológicos planteados por las centrales nucleoelectricas -y en medida considerable por sus elementos clásicos- han resultado más difíciles de lo que se creía. Todo esto hizo que el costo de la energía nucleoelectrica no disminuyera con la rapidez que se había esperado; como resultado de ello hubo demoras en los programas de energía atómica, que se escalonaron a lo largo de períodos de tiempo considerablemente más largos que los planeados en los informes presentados, por ejemplo, en las conferencias sobre energía atómica celebradas en Ginebra en 1955 y 1958.

De lo anterior se desprende claramente que los programas de energía de origen nuclear se pueden basar en dos diferentes sistemas; uno a corto plazo y otro a largo plazo. En el primero cabe incluir el desarrollo de los reactores que, si bien no utilizan por completo el uranio que les sirve de combustible, permiten no obstante un aprovechamiento bastante ra-



Un «estelarator en forma de 8» utilizado en investigaciones sobre la fusión nuclear, expuesto por los Estados Unidos en la Segunda Conferencia de Ginebra (Foto Naciones Unidas).

cional del mismo. Pero los reactores de este tipo no resuelven a la larga los problemas de energía; puede incluso decirse que suponen un aprovechamiento ruinoso del uranio. Una auténtica solución sólo puede hallarse con reactores que aprovechen mejor el combustible y permitan precios que hagan posible la extracción de materiales fisionables de minerales pobres, o la utilización del torio. También conviene recordar que no puede excluirse la posibilidad de utilizar en el futuro la energía de fusión en lugar de la de fisión atómica que ahora nos ocupa.

## Estado actual de la producción

El Organismo Internacional de Energía Atómica publica periódicamente un catálogo de reactores. Según la información que se nos ha comunicado hasta enero de 1964, en esa fecha funcionaban con fines puramente pacíficos 11 reactores de potencia con una capacidad de más de 100 MWe por unidad y una capacidad global de 1 800 MWe. Estos reactores pertenecen a los grupos indicados en el Cuadro 3.

¿A qué ritmo se construirán las nuevas centrales nucleares? En los Estados Unidos, Canadá, Reino Unido y los países del Euratom -para no citar más que a varios de los más adelantados en este terreno- se han trazado planes para aumentar la producción de electricidad, incluidas las centrales nucleoelectricas, sobre la base de las consideraciones expuestas acerca de la electricidad de origen tradicional y de origen atómico. Los resultados figuran en el Cuadro 4 y se presentan con todas las reservas de rigor en los pronósticos sobre energía de origen nuclear.

Se ha calculado que se necesitarán anualmente 30 000 toneladas de uranio para una capacidad nuclear instalada de 100 000 MWe que aumente a razón del 20 por ciento anual, cosa que muy bien puede suceder hacia 1980. Como se indica en el Cuadro 2, la producción actual es del mismo orden de magnitud. El suministro de uranio para estos reactores, que sólo aprovechan parcialmente el combustible, no presenta problema alguno y no debe requerir nuevas inversiones hasta 1980.

Otra cuestión mucho más complicada es la de saber cuáles son hoy en día los gastos de construcción y explotación de las centrales nucleares en comparación con los de las centrales clásicas.

Hace dos años, el OIEA acopió datos relativos a buen número de reactores, que se indican en el Cuadro 5, donde puede verse la capacidad neta, los gastos de inversión y el costo por kW instalado\*.

Conviene recalcar la diferencia entre los gastos correspondientes a las centrales de darapur y de Oyster Creek. El contratista -el mismo en ambos casos- explica que la diferencia se debe a la menor capacidad de la central de Tarapur (que es de 380 MWe mientras que la de Oyster Creek tiene una capacidad mínima garantizada de 515 MWe), a su emplazamiento retirado y a complicaciones peculiares del lugar de construcción.

Es difícil hacer comparaciones directas entre los gastos de inversión de los diferentes tipos de centrales nucleares, pero resulta aún más difícil comparar los precios del kWh en las distintas centrales, porque en ellos intervienen muchos elementos variables como el factor de carga, el tipo de interés, la vida efectiva de la central, etc. En el Cuadro 6 figura una comparación hecha recientemente por el OIEA.

La mayor parte de estas cifras indican que las centrales atómicas no pueden competir con las de tipo tradicional. Sin embargo, en febrero de este año se dieron a conocer los costos detallados correspondientes a la central nuclear de Jersey Central (Oyster Creek). Se confía en que esta central produzca electricidad tan barata como la que generaría la central clásica más rentable que pudiera construirse en su lugar. Por ello es interesante considerar esta central con más detenimiento.

La central, que tendrá una capacidad mínima garantizada de 515 MWe y una capacidad definitiva de 620 MWe, está alimentada por un solo reactor de agua hirviente.

La inversión total es de 68 millones de dólares, que incluyen la adquisición del terreno, los intereses durante el período de construcción, la formación del

personal operador y un millón de dólares para otros gastos. Los gastos fijos correspondientes a toda la central serán, pues, de 132 dólares por kW para una capacidad de 515 MWe, o de 110 dólares por kW si se llega a 620 MWe. Los gastos correspondientes al ciclo de combustible durante los cinco primeros años se han calculado en 1,66 mills/kWh, y los de explotación y conservación en 0,56 mills/kWh. Aunque el procedimiento contable es un tanto complejo, las cargas fijas anuales sobre el capital invertido serían de 2,03 mills/kWh para una capacidad de 515 MWe, un factor de utilización de 88 por ciento y unas cargas fijas medias de 10,37 por ciento durante los cinco primeros años.

Ello supondría un precio total, sin impuestos, de 4,25 mills/kWh para la capacidad garantizada, y de 3,79 mills/kWh si se lograra alcanzar la capacidad más elevada. La central será propiedad de una compañía eléctrica privada que la financiará totalmente sin ningún subsidio directo del Gobierno ni del Estado federal, salvo las obligaciones por daños nucleares asumidas por el Gobierno Federal de los Estados Unidos.

Todo el que ha tratado de interesar a las entidades financieras en la construcción de centrales eléctricas conoce bien los criterios puramente comerciales con que analizan la rentabilidad de una central determinada; estos criterios son decisivos en los casos en que se puede elegir entre diferentes formas de energía primaria. En cuanto la energía de origen nuclear puede competir con la de tipo clásico, como sucede en el caso de Oyster Creek, es de esperar que haya una reacción y una guerra de precios por parte de los productores de carbón y petróleo, si no encuentran inmediatamente otros mercados. Es interesante seguir las discusiones que se están desarrollando y observar las medidas propuestas por los productores de carbón como resultado de la decisión de construir la central de Oyster Creek adoptada el pasado año.

El precio del carbón en Oyster Creek era de 29,5 centavos/millón Btu y, con arreglo a las ofertas presentadas, se esperaba que bajase a 26 centavos/millón Btu. Estas fueron las cifras que se utilizaron al comparar el costo de una central clásica y el de una central nuclear, y que sirvieron de base para decidir la construcción de la central de Oyster Creek. Para competir con el combustible nuclear, el precio del carbón debería ser de unos 20 centavos/millón Btu, precio tan sólo superior en un 10 por ciento al que se paga en las zonas carboneras de Pennsylvania.

Hace diez años solía decirse que la mejor manera de reducir el costo de las centrales nucleares sería abaratar la electricidad de origen tradicional. La oferta de Oyster Creek muestra, entre otras cosas, que se ha llegado a una fase en que lo cierto parece ser lo contrario, es decir, que el abaratamiento de la electricidad de origen nuclear constituye una ga-

\* Siempre que es posible se dan detalles sobre los reactores de la Unión Soviética, pero se carece de datos económicos.

ranía de que los precios de los combustibles clásicos seguirán siendo moderados. Es evidente que la existencia de combustibles sustitutivos de los fósiles ha originado una lucha de precios, una especie de regulación de éstos por parte de los productores de carbón y de petróleo, que ha redundado en beneficio de los consumidores.

Si el costo de la electricidad generada con combustible clásico y nuclear fuera idéntico, ¿cuál sería entonces el resultado de comparar estas dos fuentes de energía? No creo que el alegar que debemos guardar los complejos hidrocarburos en beneficio de las generaciones futuras sea un argumento convincente para las compañías eléctricas, aunque sea intrínsecamente bueno. Al parecer, la humanidad ha explotado con prodigalidad sus recursos siempre que ha estado en condiciones de hacerlo y no es probable que la actual generación obre de otra manera, ni parece que por ahora haya otros grandes consumidores de combustibles fósiles que puedan colmar la laguna que se produzca.

En cambio, debe destacarse que la experiencia adquirida hasta el presente con las centrales nucleares del Reino Unido y de los Estados Unidos es sumamente alentadora por lo que respecta a la facilidad y seguridad de explotación. La experiencia demuestra que la explotación de los reactores atómicos es más sencilla de lo que cabía esperar en los primeros tiempos, y también que al diseñarlos se ha procedido con tanta prudencia que se ha podido mejorar considerablemente su rendimiento y, por ende, reducir los gastos. La primera renovación del combustible realizada en Shippingport llevó 134 días, la tercera sólo 32 días; la potencia de la central Yankee era inicialmente de 141 MWe, se elevó luego a 160 MWe y, a principios de este año, aumentó de nuevo hasta alcanzar 175 MWe. Todo ello habla en favor de la energía nucleoelectrónica.

Además, debe recordarse que si bien la energía nucleoelectrónica es sustitutiva de la de origen tradicional, ambas no son exactamente iguales. Con la energía nucleoelectrónica desaparece el humo y el transporte de combustible se reducirá en grado sumo. Con la rápida urbanización ahora en curso en los países industrializados, no sólo es posible sino probable que las normas contra la contaminación del aire se tornen tan rigurosas que las centrales tradicionales no puedan subsistir dentro de los cascos urbanos (así ha sucedido en Los Angeles). La energía de origen nuclear puede proporcionar la solución de estos problemas cuando nos acostumbremos a considerar el funcionamiento de los reactores con la misma confianza que ahora sentimos ante las fábricas de gas y los surtidores de gasolina en las ciudades.

Oyster Creek ha causado considerable inquietud y no sólo entre los productores de carbón. Los competidores "bien informados" dicen que el precio fijado en la oferta es tan bajo que el contratista perderá dinero. Pero al mismo tiempo es evidente que pueden

abrirse nuevos mercados, y la actual discusión en el Reino Unido acerca del tipo de reactor que se seleccionará para la próxima gran central nuclear es un indicio de ello.

La oferta suscita también la discusión acerca de la conveniencia de desarrollar otros tipos de reactor, de los que no cabe esperar que alcancen costos de producción comparables a los de Oyster Creek sino al cabo de varias generaciones. En beneficio de la tecnología de reactores, es de esperar que los responsables de este desarrollo, bien en el sector privado o en el oficial, prescindan en este caso de consideraciones miopes. Cada tipo de reactor posee características distintas y su interés varía según el punto de vista desde el que se consideran. El reactor de alta temperatura moderado con grafito y refrigerado con gas es un ejemplo de reactor que convendría continuar desarrollando para construir unidades de mayor capacidad; algunas variantes del reactor moderado con agua pesada son de particular interés para los que no quieren depender de combustibles enriquecidos.

También es probable que se susciten problemas en cuanto a las tareas que deben encomendarse a las grandes organizaciones creadas en muchos países para "explotar el átomo", como suele decirse. Hay que tener presente que si bien se han construido ya tipos de reactor que pueden competir con las centrales clásicas, ello no supone más que una solución a corto plazo; aún queda por construir el reactor reproductor de tipo comercial. En este artículo los pronósticos se limitan deliberadamente al período que termina en 1980, pero se hace una excepción en la figura 4, en la que se indica la potencia global de los reactores térmicos que producirán el plutonio que más tarde utilizarán los reactores reproductores rápidos, así como la potencia de éstos en función del tiempo hasta el año 2030. Como puede verse, los reactores reproductores tardarán bastante en relevar a los reactores térmicos corrientes; ello se debe a que se necesita mucho tiempo (de 10 a 20 años) para que un reproductor duplique la cantidad inicial de material fisionable. Caben dos posibilidades: decidirse por los reproductores rápidos basados en el ciclo uranio-plutonio, o por los reproductores térmicos basados en el ciclo torio-uranio-233; en cualquier caso, esta labor de perfeccionamiento representa una importante y magna empresa, y las organizaciones nacionales que se enfrentan con ella tienen trabajo asegurado para mucho tiempo.

A medida que la industria vaya haciéndose cargo de la labor de desarrollo de los reactores térmicos, cabe suponer que los laboratorios nacionales restringirán su participación en esa tarea dedicándose en cambio a investigaciones avanzadas a largo plazo (por ejemplo, sobre reactores reproductores) o de carácter más fundamental (por ejemplo, investigaciones sobre radiobiología).

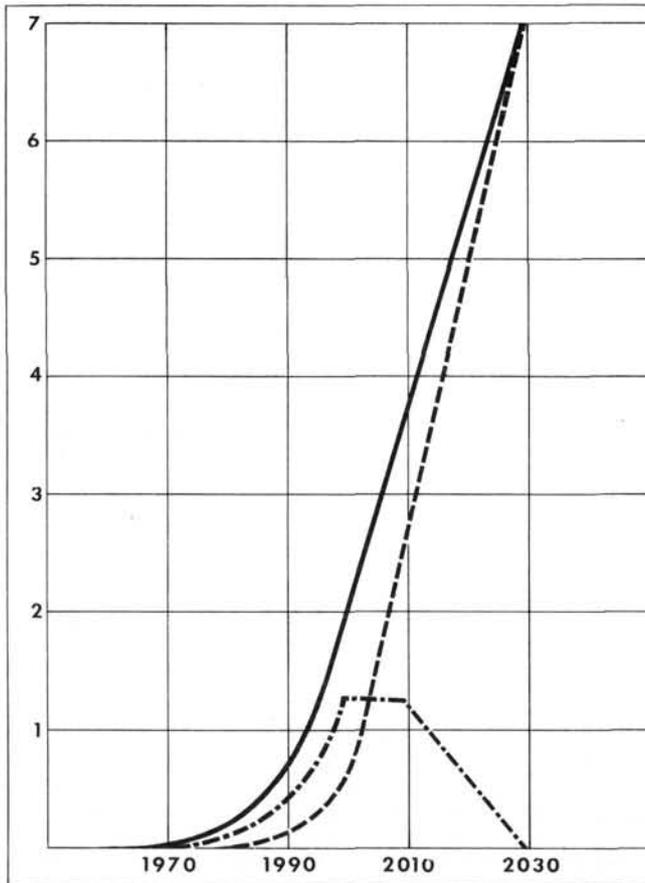


Figura 4

Potencia térmica (en millones de MW)

- Reactores térmicos
- · - · - Reactores reproductores
- Potencia total

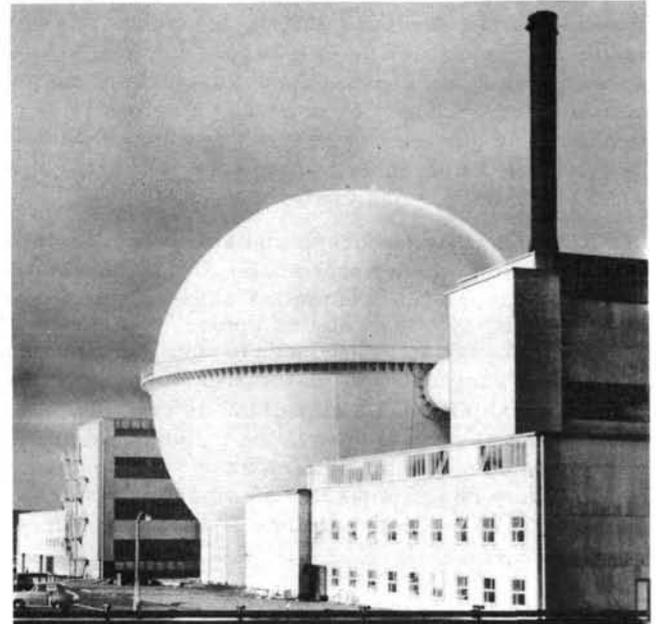
No es fácil hacer una distribución equilibrada de la labor entre los laboratorios nacionales, los servicios de promoción de las empresas industriales y los laboratorios de investigación de las universidades y escuelas superiores técnicas. También en esta esfera la oferta de Oyster Creek promoverá y estimulará una discusión renovadora.

Seguidamente, unas palabras acerca de la seguridad. Desde sus comienzos, la industria atómica se ha preocupado tanto por la seguridad que existen buenas razones para pensar que cuando se haya adquirido más experiencia se tenderá a mitigar y simplificar las normas y disposiciones aplicadas actualmente. Esta tendencia difiere de la seguida corrientemente por las industrias cuyos residuos contaminan el aire o las aguas; en efecto, para ellas no se han dictado por lo general reglamentaciones restrictivas hasta que la contaminación alcanzó grados tales que podían demostrarse claramente sus inconvenientes y riesgos. El estudio continuo de las cuestiones relativas al emplazamiento y a la seguridad es impor-

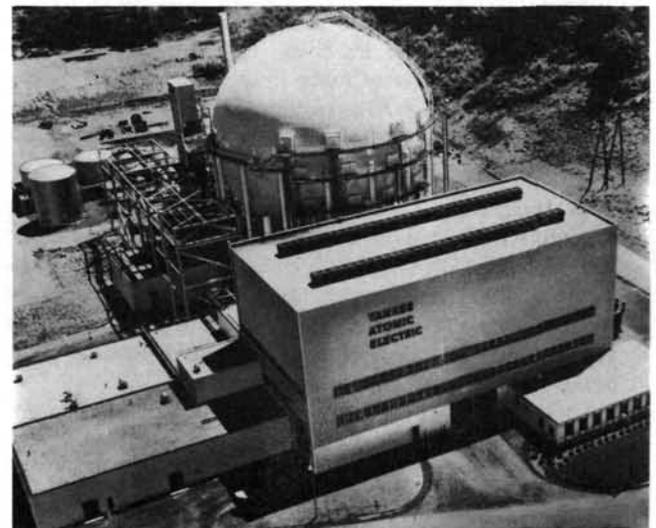
tante para la economía de la energía de origen nuclear y tendrá sin duda como consecuencia una disminución de los gastos de inversión necesarios para las centrales nucleares; una labor más intensa de información pública podría también dar por resultado una mayor comprensión y aprecio de la nueva tecnología.

En muchas partes del mundo la población aún parece temer a los establecimientos de energía atómica, sea cual fuere su naturaleza. Las armas atómicas y sus efectos tienen muy probablemente algo que ver con esto. De lo contrario, no se comprende la inquietud del público por las radiaciones en una época en que aceptamos como cosa corriente que milla-

Reactor reproductor rápido experimental de Dounreay, Reino Unido. (Foto UKAEA)



La central nucleoelectrónica Yankee, Estados Unidos.



res de personas perezcan cada mes en accidentes de tráfico o que 200 personas sucumban a causa de la niebla en Nueva York.

También hay otras cuestiones que exigirán trabajos de investigación y de desarrollo. Una de ellas es la referente a los desechos radiactivos, y otra, el transporte de materiales radiactivos, incluidos los combustibles agotados. En lo que respecta a estos últimos, sería conveniente crear u organizar plantas regionales de tratamiento. Ello simplificaría el transporte y reduciría los gastos, introduciendo una mejora muy necesaria para la economía del tratamiento del combustible debido a la mayor cantidad de material tratado, y permitiría un control internacional más eficaz de los materiales fisionables. Cabe señalar, por ejemplo, que para una capacidad nuclear instalada de 25 000 MWe se necesita una planta que pueda tratar 10 toneladas diarias de combustible agotado. La explotación de esta planta sólo costaría el doble que la de otra cuya capacidad fuera de una tonelada diaria. Estas cifras ponen de relieve la conveniencia de que los productores de energía de origen nuclear cooperen estrechamente, primero en la esfera mundial y, más tarde, en la regional.

Finalmente, unas breves palabras acerca de la posibilidad de obtener materiales fisionables enriquecidos (uranio-235 o plutonio) para reactores. En la actualidad, sólo los Estados Unidos, el Reino Unido y la Unión Soviética producen uranio-235 y los tres países han suministrado materiales enriquecidos a países extranjeros. La capacidad de producción es sin duda considerable; según los cálculos del OIEA, el año pasado había disponibles unas 3 000 toneladas de plutonio y de uranio-235. Compárese esta cifra con los 750 kg que sólo contiene el reactor de Dresden (205 MWe).

En julio de 1962, la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos fijó la última versión de la tarifa de precios del uranio enriquecido; la Comisión está dispuesta a garantizar el suministro de combustible a un reactor durante toda su vida útil. Los precios deben considerarse como un tanto artificiales, puesto que están íntimamente relacionados con la producción de armas. A este respecto es sumamente interesante la cuestión del sobreprecio que se paga por el enriquecimiento.

Lo artificiales que son las condiciones que imperan en este mercado se ve claramente por la competencia sostenida entre los presuntos vendedores de plutonio al Euratom, competencia que terminó con la adjudicación del contrato a un precio de 42 dólares el gramo, mientras que en la oferta original inglesa el precio era de 112 dólares.

En los Estados Unidos y el Reino Unido, el suministro de combustible está supeditado en principio a que el país proveedor tiene derecho a verificar, por medio de inspectores, si el material se utiliza para

los fines pacíficos especificados. Los Estados Unidos están ahora negociando con varios países el traspaso de estas funciones de inspección al OIEA. Cabe señalar que el sistema de salvaguardias del OIEA se ha extendido recientemente a los reactores de capacidad térmica superior a 100 MW. Esta decisión se ha adoptado sin que hubiese las numerosas opiniones discrepantes que tan enérgicamente se manifestaron cuando hace tres años se instituyó el sistema de salvaguardias. Al mismo tiempo se decidió revisar todo el sistema, labor de la que se ocupa un Comité de la Junta de Gobernadores.

La inspección de los reactores, en la que se funda todo el sistema de salvaguardias, modifica un tanto los viejos conceptos de soberanía absoluta. La expansión prevista de los programas civiles de energía atómica hace que los materiales fisionables producidos en reactores se hallen disponibles en una escala hasta ahora desacostumbrada. En tales condiciones es de capital importancia instaurar un sistema internacional de control que pueda garantizar la utilización de esos materiales con fines exclusivamente pacíficos. El hecho de que, precisamente en una sesión de la Conferencia del Desarme de Ginebra, los Estados Unidos ofrecieran someter su reactor Yankee (Massachusetts) a las salvaguardias del OIEA pone de relieve la relación existente entre esta cuestión y el desarme internacional.

Han transcurrido 26 años desde que se descubrió el proceso de fisión, 22 años desde que se puso en funcionamiento el primer reactor y 11 años desde que entró en servicio el primer reactor de potencia moderado con agua ligera. Como tantas veces antes en la historia de la energía nuclear, nos encontramos ahora en un punto crucial. Después de una época de pronósticos pesimistas tenemos ahora razones para sentirnos optimistas, pues podemos ver que las centrales nucleares pueden competir con las tradicionales en ciertas condiciones. Pero no hemos de olvidar que el objetivo que persigue la energía de origen nuclear es un objetivo en movimiento. Teniendo en cuenta los factores de demora inherentes a nuestros sistemas económicos, es probable que la implantación de la nueva fuente de energía se efectúe poco a poco. Queda por ver cómo reaccionarán ante la situación los productores de combustibles fósiles.

Cuadro 1

Recursos energéticos mundiales: equivalencia en carbón

	Millones de toneladas
Hulla, antracita y lignito	3 000 000
Turba	100 000
Petróleo y esquistos bituminosos	290 000
Gas natural	90 000
Total	3 500 000

(Conferencia Mundial de la Energía, Estudio de los Recursos Energéticos, 1962)

Cuadro 2

Recursos de uranio y de torio y producción de uranio

País	Recursos (toneladas de elemento en mineral)		Producción en 1963 (equivalente en ton- neladas de uranio)
	U	Th	
Sudáfrica	250 000	15 000	3 500
Africa Occidental	-	15 000	-
Canadá	145 000	210 000	6 000
Estados Unidos de América	132 000	50 000	11 000
Francia	26 000	-	1 000
Australia	10 000	50 000	800
Congo (Leopoldville)	8 000	-	-
Nyassalandia	-	10 000	-
Portugal	5 500	-	300
Gabón	5 000	-	400
Argentina	3 800	-	-
Brasil	-	300 000	-
Italia	1 600	-	-
España	1 500	-	100
India	1 200	300 000	-
Ceilán	-	50 000	-
Japón	1 000	-	-
República Federal de Alemania	800	-	-
Otros	1 000	-	200
Total	592 400	1 000 000	23 300

Cuadro 3

Centrales nucleares de más de 100 MWe que funcionaban en enero de 1964

Tipo	Reactores	Centrales	Capacidad (MWe)
Moderado con grafito y refrigerado con gas	5	3	726
Moderado con grafito y refrigerado con agua	1	1	100
Agua a presión	3	3	611
Agua hirviente	2	2	330
Total	11	9	1 767

Cuadro 4

## Construcción de centrales eléctricas, 1960-1980

Región	1960-1970			1970-1980		
	Potencia eléctrica total (MWe)	Proporción de energía nucleoelectrica		Potencia eléctrica total (MWe)	Proporción de energía nucleoelectrica	
		MWe	%		MWe	%
Estados Unidos	150 000	5 000	3	190 000	38 000	20
Canadá	25 000	1 000	4	28 000	5 000	18
Reino Unido	40 000	5 000	13	65 000	12 000	18
Países del Euratom	55 000	4 000	7	115 000	30 000	26
Otros países europeos	20 000	1 500	7	46 000	5 000	10
Otros (inclusive la India, el Japón y Pakistán)	60 000	4 000	6	100 000	10 000	10
<b>Total</b>	<b>350 000</b>	<b>20 500</b>	<b>6</b>	<b>544 000</b>	<b>100 000</b>	<b>18</b>

Cuadro 5

## Gastos fijos de las centrales nucleoelectricas

Central	Tipo	Entrada en servicio	Producción neta (MWe)	Gastos fijos (millones de dólares)	Gastos por kWe (dólares)
Dresden (Estados Unidos)	Agua hirviente	1959	205	51,3	250
KRB (República Federal de Alemania)	Agua hirviente	1965/66	237	70,0	295
Tarapur (India)	Agua hirviente	1966	380 (2 x 190)	101,5	267
Oyster Creek (Estados Unidos)	Agua hirviente	1968	515 (mínima)	68,0	132
Yankee, Massachussets (Estados Unidos)	Agua a presión	1960	158	39,2	248
San Onofre (Estados Unidos)	Agua a presión	1966	373	91,5	245
Yankee, Connecticut (Estados Unidos)	Agua a presión	1967	463	84,9	183
Wylfa (Reino Unido)	Refrigerado con gas	1967/68	1 180 (2 x 590)	280,0	236
Candu (Canadá)	Agua pesada	1965	202	81,5	403

## Cuadro 6

Precio del kWh en determinadas centrales nucleares

Central	Entrada en servicio	Mills/kWh			Total
		Gastos fijos	Combustible	Explotación	
Yankee 1	1960	5,50 <sup>a/</sup>	2,42 <sup>b/</sup>	1,15	9,1
Yankee 2	1962	5,50 <sup>a/</sup>	4,75 <sup>c/</sup>	1,15	11,4
Bradwell	1963	5,60 <sup>d/</sup>	2,80	0,60	9,0
Bodega Bay	1966	3,71 <sup>e/</sup>	1,79 <sup>c/</sup>	0,72	6,2
Candu	1965	3,41 <sup>f/</sup>	1,21	1,14	5,8

a/ Basado en una carga fija anual de 14,6 por ciento, un factor de utilización de 84 por ciento y una inversión de 248 dólares por kW.

b/ Incluido el precio de readquisición de plutonio a 30 dólares/g de Pu metálico. Gastos nulos de arrendamiento de uranio. Gastos de combustible calculados sobre la base de la tarifa de la CEA de los Estados Unidos para el uranio enriquecido, vigente del 1. VII.61 al 30. VI.62.

c/ Incluido el precio de readquisición del plutonio a 8 dólares/g de Pu en forma de nitrato y el gasto de arrendamiento del uranio. El gasto de combustible se basa en la tarifa de la CEA de los Estados Unidos vigente en 1º de julio de 1962.

d/ Basado en un tipo de interés de 5,5 por ciento y en 20 años de vida útil de la central, lo que supone una carga fija anual de 8,37 por ciento. Se supone un factor de utilización de 80 por ciento y una inversión de 465 dólares/kW.

e/ Basado en una carga fija de 13,2 por ciento, un factor de utilización de 80 por ciento y una inversión de 197 dólares kW.

f/ Basado en un tipo de interés de 4,5 por ciento, amortización del agua pesada en 40 años, amortización del reactor en 15 años y de los restantes elementos de la central en 30 años, lo que supone una carga fija anual de 6,48 por ciento. Basado también en un factor de utilización de 80 por ciento y en una inversión de 403 dólares/kW.